



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101990704 A

(43) 申请公布日 2011.03.23

(21) 申请号 200980112878.1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009.04.03

H01L 21/3065(2006.01)

H05H 1/34(2006.01)

(30) 优先权数据

61/042,011 2008.04.03 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.10.08

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/039514 2009.04.03

(87) PCT申请的公布数据

W02009/146136 EN 2009.12.03

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 维贾雅库马尔·C·韦努戈帕尔

埃里克·佩普 吉恩·保罗·布思

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

代理人 周文强 李献忠

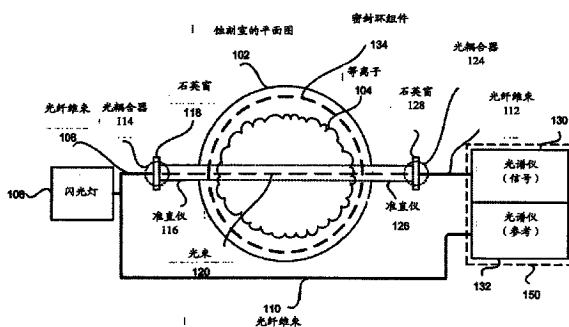
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于归一化光学发射光谱的方法和装置

(57) 摘要

本发明提供一种用于等离子发射原位光学解调,用以定量测量等离子室内的归一化光学发射光谱的装置。该装置包括闪光灯和一组石英窗。该装置还包括多个准直光学组件,该准直光学组件与该组石英窗光学耦合。该装置进一步包括多个光纤维束,其至少包括照明光纤维束、收集光纤维束以及参考光纤维束。该装置更进一步包括多通道光谱仪,其至少配置有信号通道和参考通道。该信号通道至少与该闪光灯、该组石英窗、该组准直光学组件、该照明光纤维束以及收集光纤维束光学耦合,用以测量第一信号。



1. 一种用于等离子发射原位光学解调以定量测量等离子室内的归一化光学发射光谱的装置,包括:

闪光灯;

一组石英窗;

多个准直光学组件,该多个准直光学组件与该组石英窗光学耦合;

多个光纤维束,该多个光纤维束至少包括照明光纤维束、收集光纤维束以及参考光纤维束;以及

多通道光谱仪,该多通道光谱仪至少配置有信号通道和参考通道,该信号通道至少与该闪光灯、该组石英窗、该组准直光学组件、该照明光纤维束以及该收集光纤维束光学耦合,用以测量第一信号。

2. 权利要求 1 的装置,其中该闪光灯是高强度、短脉冲光源。

3. 权利要求 1 的装置,其中该闪光灯是氙气闪光灯。

4. 权利要求 1 的装置,其中该组石英窗至少配置有第一石英窗和第二石英窗,该第一石英窗设置为与该第二石英窗直径上对置。

5. 权利要求 1 的装置,其中该参考通道至少与该闪光灯以及该参考光纤维束光学耦合,用以测量第二信号。

6. 权利要求 1 的装置,其中该第一信号是来自该等离子室的发射信号。

7. 权利要求 5 的装置,其中该第二信号是来自该闪光灯的每脉冲输出。

8. 权利要求 1 的装置,其中该照明光纤维束被设置为与该参考光纤维束具有相等长度。

9. 权利要求 1 的装置,其中该收集光纤维束与该多通道光谱仪上的该信号通道是配对的,该配对可通过第一离线校准法实现。

10. 一种使用光发射光谱学 (EOS) 装置进行原位光学解调等离子发射以定量测量等离子室内的归一化光学发射光谱的方法,该方法包括:

执行多个离线校准;

使用多通道光谱仪上的信号通道与该多通道光谱仪上的参考通道中的至少一个,执行多个初始校准;

在该等离子室内放入未处理的基板;

激励等离子以处理位于该等离子室内的该基板;

使用该多通道光谱仪上的该信号通道与该多通道光谱仪上的该参考通道中的至少一个,用处于 ON 状态的闪光灯执行第一组光学解调最小积分时间;

使用该多通道光谱仪上的该信号通道与该多通道光谱仪上的该参考通道中的至少一个,用处于 OFF 状态的该闪光灯执行第二组光学解调该最小积分时间;

使用该多通道光谱仪上的该信号通道,用处于所述 OFF 状态的该闪光灯执行第三组光学解调所需积分时间;以及

计算归一化光学发射光谱。

11. 权利要求 10 的方法,其中该 EOS 装置至少配置有该闪光灯;一组石英窗;多个准直光学组件;多个光纤维束,该多个光纤维束至少包括照明光纤维束、收集光纤维束和参考光纤维束;以及该多通道光谱仪,该多通道光谱仪至少配置有该信号通道和该参考通道。

12. 权利要求 11 的方法,其中该闪光灯是高强度、短脉冲光源。
13. 权利要求 11 的方法,其中该闪光灯是氙气闪光灯。
14. 权利要求 11 的方法,其中该组石英窗至少配置有第一石英窗和第二石英窗,该第一石英窗被设置为与该第二石英窗直径上对置。
15. 权利要求 11 的方法,其中该照明光纤束被设置为与该参考光纤束具有相等长度。
16. 权利要求 11 的方法,其中该收集光纤束与该多通道光谱仪上的该信号通道是配对的,该配对可通过该多个离线校准中的第一离线校准实现。
17. 权利要求 10 的方法,其中该多个离线校准中的第二离线校准法使用标准光源来测量多个耦合系数。
18. 一种使用光发射光谱学(EOS)装置进行原位光学解调等离子发射以定量测量等离子室内的归一化光学发射光谱的方法,该方法包括:
 - 使用多通道光谱仪上的信号通道执行初始校准;
 - 在该等离子室内放入未处理的基板;
 - 激励等离子以处理该等离子室内的该基板;
 - 使用该多通道光谱仪上的该信号通道,用处于 ON 状态的闪光灯执行第一组光学解调最小的积分时间;
 - 使用该多通道光谱仪上的该信号通道,用处于 OFF 状态的该闪光灯执行第二组光学解调该最小的积分时间;
 - 使用该多通道光谱仪上的该信号通道,用处于所述 OFF 状态的该闪光灯执行第三组光学解调所需积分时间;以及计算归一化光学发射光谱。
19. 权利要求 18 的方法,其中该 EOS 装置至少配置有该闪光灯;一组石英窗;多个准直光学组件;多个光纤束,该多个光纤束至少包括照明光纤束、收集光纤束和参考光纤束;以及该多通道光谱仪,该多通道光谱仪至少配置有该信号通道和该参考通道。
20. 权利要求 19 的方法,其中该闪光灯是高强度、短脉冲光源。

用于归一化光学发射光谱的方法和装置

背景技术

[0001] 等离子工艺的进步为半导体工业的发展提供了便利。在等离子工艺中,可使用分析工具以确保被处理器件的高产率。光发射光谱学(OES)常被用作用于蚀刻剂和蚀刻产品的气相监测的分析工具,以维持工艺参数的严密控制。

[0002] 在等离子体的光学解调中,存在与等离子体放电相关的特有辉光,即特有的光学发射光谱。等离子体放电可具有谱分辨率(spectral definition),该谱分辨率可为包括但不限于组成种类(constituent species)、压力、能量密度、驱动功率等等多变量的函数。使用单通道光谱仪,通常可发现该光谱,其包括但不限于深紫外(UV)至远红外(IR)的波长。

[0003] 等离子体的光学解调可通过由准直仪收集该光学发射光谱来实现,该准直仪穿过(through)等离子体蚀刻室的石英窗。由收集光纤束传输的该光谱信息,可由光谱仪的信号通道测量。通过来自该光学解调的光谱信息,可收集和分析相当多的关于组成种类的信息,用以对等离子体工艺过程中的工艺监测和控制提供指导。然而,使用OES的等离子体光学解调主要被局限于定性分析。

[0004] 特别地,变异性(Variability)可为阻碍OES被使用于在制造环境中该等离子体光学解调的定量分析的主要限制。例如,在器件制造环境中可发现系统间变异性。系统间变异性可显示各个等离子体工艺系统间在条件上的差异。在另一示例中,系统间变异性可在测量系统间,即光谱仪间,发现。在又一示例中,系统间变异性可在具有不同光谱仪的各个截然不同的等离子体工艺系统的设置中看到差别。熟悉本领域的技术人员应能理解,在制造环境中,工艺过程中的等离子体光学解调的系统间变异性可提供高水平的不确定性,限制OES被作为用于等离子体监测和/或控制的定量工具。

[0005] 可能限制OES被用于制造环境中的定量分析的另一变异性因素可为系统内的变量。例如,将该光纤束耦合至该等离子体室和/或该光谱仪的效率可为系统内的变异性因素。

[0006] 在另一示例中,该等离子体室的几何形状和构件可导致该系统内的变异性,即,等离子体信号的原位测量。相对于真空室要求的气氛而言,等离子体工艺通常施加低压。该真空室壁的窗可能需要由合适的材料制成,例如,该窗可由石英制成,以沿该光学路径以所需的波长相关衰减传输,用以测量该等离子体光谱信号。然而,某些等离子体工艺系统的压力控制可使用密封环安装,其可部分阻塞在该等离子体与该光谱仪之间的该光学路径。而且,该密封环可视所需等离子体压力而定,相对于该诊断窗口移动,还会经历沉积和/或蚀刻。因此,该光学路径的阻塞、沉积和/或蚀刻可引起系统内的变异性,使得应用OES的定量分析不能实施。

[0007] 由元件降解引起的变异性与时间的函数,即随时间变异,可为又一个阻碍OES被应用于等离子体工艺的定量分析的变量来源。例如,该前面提到的石英窗在等离子体处理过程中可被暴露于等离子体,并且可经历沉积和/或蚀刻。因此,随时间推移,该石英窗会变模糊并且会改变该窗的光学特性。通常,该石英窗的模糊会以非线性方式导致较低的等离子体信号。在另一个随时间变异示例中,光纤束会在光学投射效率与时间的函数中降解,其也会以非线性方式导致较低的等离子体信号强度。综上可以预知,随时间变异可提供又一个不确

定来源,限制该 OES 被用作定量工具。

[0008] 总的来说,定义等离子体的许多变量会难于精确原位测量。而且,在多时间尺度上等离子体会显著波动,这会导致谱发射的变化。由于与现有的应用 OES 的等离子体光学诊断有关的变异性,定量确定等离子体变量的任务会引起发射改变,会非常困难。因此,OES 的使用仅限于定量应用,例如终点检测、泄露鉴定、种类鉴定等等。

[0009] 需要使用对照(control)的潜在解决方案来标注化 OES,以降低工艺内每一步骤的变异性。例如,可进行校准以降低系统和/或设备之间的变异性。可周期性清洗石英窗以减少模糊现象。可更换光纤束以达到起初的透射效率。可使用键控连接器以用相同方式装设光耦合器,以减少安装变异性。

[0010] 然而,校准和对照可经修改适用于实验室环境,但不会有助于制造环境。在高容量生产装置中(其能以高生产能力制造具有超过一百个制造步骤的器件),每个步骤之后进行校准和对照会不太可行。对未进行对照的变量和与时间相关的递降的校准会要求专用资源。专用资源会增加极具成本竞争性的制造工艺的成本。仔细的校准和对照会增加工艺时间的开支,增加单个设备的制造成本,降低生产能力。因此,这些对照可在未讨论定量 OES 测量能力,同时对具有较高成本和较低生产能力的工艺不利的情况下,减少变异性。

[0011] 有鉴于此,迫切需要将 OES 使用为定量工具,用于等离子工艺中的工艺监测和控制的方法和装置。发明内容

[0012] 在一个实施方式中,本发明涉及用于原位光学解调等离子体发射以定量测量等离子体室内的归一化光学发射光谱的装置。该装置包括闪光灯与一组石英窗。该装置还包括多个准直光学组件,其光学耦合至该组石英窗。该装置进一步包括多个光纤束,其至少包括照明光纤束、收集光纤束以及参考光纤束。该装置仍然包括多通道光谱仪,其至少配置有信号通道和参考通道。该信号通道至少被光学耦合至该闪光灯、该组石英窗、该组准直光学组件、该照明光纤束以及该收集光纤束,用以测量第一信号。

[0013] 上述发明内容仅仅涉及此处揭示的本发明的许多实施方式中的一个,并非意图限制由权利要求给出的本发明的范围。本发明的这些以及其他特征将在下文的具体实施方式中结合所附附图做更详细的描述。附图说明

[0014] 本发明通过示例,而非通过限定方方程式,结合相应的附图进行详细描述,其中相同的附图标记指的是相似元件,其中:

[0015] 图 1 显示,根据本发明一个实施方式,在典型的等离子工艺系统中,用于等离子体光学解调的归一化光发射光谱(OES)安装的简化示意图。

[0016] 图 2 显示,根据本发明一个实施方式,使用校准光源的第一校准安装的简化示意图。

[0017] 图 3 显示,根据本发明一个实施方式,使用标准光源的第二校准安装的简化示意图。

[0018] 图 4 显示,根据本发明一个实施方式,使用信号通道用于实时归一化 OES 测量的方法的简化流程图。

[0019] 图 5 显示,根据本发明一个实施方式,使用多通道光谱仪用于实时归一化 OES 测量的方法的简化流程图。具体实施方式

[0020] 下面将参考几个实施方式,并对照相应附图,对本发明进行详细描述。在下文描述

中,为彻底理解本发明,提出了很多特定细节。然而,对本领域普通技术人员而言,很明显地,缺乏某些或全部这些特定细节,本发明仍可实施。在其他情况中,对于公知的工艺步骤和 / 或结构并未进行详细说明,以避免对本发明造成非必要的模糊。

[0021] 根据本发明的实施方式,提供了用于等离子发射的原位光学解调的方法和装置,用以定量测量通过多个室的归一化光学发射光谱。在一个示例中,使用外部光源,该原位测量的光学收集效率可通过实时解调该光学收集路径实现,在一个实施方式中,该外部光源通过直径上对置的观察孔。

[0022] 在一个实施方式中,该归一化 OES 测量系统可配置有外部光源,例如氙气闪光灯。在一个示例中,该闪光灯可具有相对短的脉冲持续时间和 / 或高强度信号。在一个实施方式中,多通道光谱仪可被应用于同时测量来自等离子处理室和 / 或该闪光灯的每脉冲输出的发射信号。因此,该归一化 OES 系统可允许光学发射和 / 或光学收集效率的测量,以获得归一化光学发射光谱。相反地,现有技术 OES 测量系统并不配置有外部光源和 / 或多通道光谱仪。

[0023] 在一个实施方式中,通过使用离线校准测量,可确定固定耦合因子。在一个示例中,使用一个实施方式中的校准光源可完成校准。在另一个实施方式中,使用标准光源可完成校准,该标准光源可由该多通道光谱仪的该信号通道和 / 或该参考通道两者或一个测量。这些校准可在运送该 OES 系统之前,在该光谱仪制造厂完成一次,以确定这些固定耦合因子。因此,设备制造商并不负责校准,因该校准可增加设备制造工艺的成本。

[0024] 在现有技术中,使用 OES 的等离子光学解调方法被限于定性分析。此处的揭露,在一个实施方式中讨论了使用该光谱仪的单通道的实时归一化 OES 测量方法。该归一化 OES 测量可证明 (account for) 由该系统内的老化和由密封环位置引起的该光学路径的变化引起的漂移 (drift)。在另一个实施方式中,讨论了使用具有外部校准测量的多通道光谱仪,用于实时归一化 OES 测量的方法。该光谱仪和光学效率因子可用前面提到的校准方法离线校准。在一个实施方式中,该光学发射光谱可被测量并归一化,以消除与该测量系统的光学收集效率有关的变量 (variation)。综上可以预知,前面提到的方法可为穿过不同处理室的归一化 OES 光谱的实时定量分析提供便利。

[0025] 参考下文的附图和讨论 (将现有技术的构造和本发明实施方式进行对比),可以更好地理解本发明的特征和优点。

[0026] 图 1 显示,根据本发明一个实施方式,在典型等离子工艺系统中,用于等离子光学解调的归一化发射光谱 (OES) 安装的简化示意图。

[0027] 在图 1 的实施,可完成蚀刻室 102 中的等离子 104 的光学解调,用以测量光学发射光谱,该发射光谱和与该测量系统内的变异性有关的光效率无关。在一个实施方式中,蚀刻室 102 可配置有光学密封环组件 134。进一步地,在一个实施方式中,蚀刻室 102 可配置有两个直径上对置的石英窗,透过该石英窗,等离子 104 可见。在一个示例中,蚀刻室 102 可在照明侧配置有第一石英窗 118,在收集侧配置有第二石英窗 128。

[0028] 正如此处所用的术语,该照明侧为该蚀刻室的配置外部光源,用以传送光线通过第一石英窗 118 的该侧。同样地,该收集侧可为该蚀刻室的这样的一侧,在该处,与放电等离子有关的光学发射光谱可由光谱仪通过第二石英窗 128 测量到。

[0029] 在一个实施方式中,多个准直光学组件,例如第一准直仪 116 和第二准直仪 126,

可被用于耦合这两个石英窗至蚀刻室 102。在一个示例中,石英窗 118 可由第一准直仪 116 被耦合至蚀刻室 102 的照明侧。类似地,石英窗 128 可由第二准直仪 126 被耦合至蚀刻室 102 的收集侧。

[0030] 在一个实施方式中,耦合至每个石英窗的这些准直光学组件,可配置有会聚和/或分散镜片(为简化描述未显示),其可具有用于光学纤维耦合的预定角接收。

[0031] 例如在该照明侧,在一个实施方式中,来自外部光源,即闪光灯 106 的该光信号通过第一光纤束 108,被传送至蚀刻室 102。此处光纤束 108 也可被称为是照明光纤束 108。该闪光灯 106 可为,但并不限于,能够传送高强度、短脉冲光束 120 的氙气闪光灯。在一个实施方式中,该照明光纤束 108 可被设置为在第一末端耦合至闪光灯 106,且在第二末端经由光耦合器 114 耦合至石英窗 118。

[0032] 在图 1 的实施中,经由照明光纤束 108 被传送至蚀刻室 102 内的该光信号 120 通过准直仪 116 可被准直。在一个实施方式中,相对于等离子 104,在强度上,光信号 120 的强度可高出多个数量级,导致高信噪比。在一个实施方式中,该光信号 120 和等离子 104 的该光学发射光谱通过准直仪 126 可被准直,以经由第二光纤束 112 被传输至多通道光谱仪 150 的信号通道 130。此处光纤束 112 可被称为收集光纤束 112。

[0033] 在该收集侧,收集光纤束 112 可被设置为在第一末端经由光耦合器 124 被耦合至石英窗 128,且在第二末端耦合至多通道光谱仪 150 的该信号通道 130。在一个实施方式中,来自蚀刻室 102 的等离子 104 的光学发射光谱和/或光信号 120 可经由收集光纤束 112 被收集并传送至多通道光谱仪 150 上的信号通道 130,用于测量。在一个实施方式中,信号通道 130 可为,但并不限于电荷耦合元件 (CCD)。因此,信号通道 130 可被设置为测量来自蚀刻室 102 的该传输信号。

[0034] 在图 1 的实施中,在一个实施方式中,来自闪光灯 106 的光信号可经由第三光纤束 110 被直接收集并传输,在多通道光谱仪 150 的参考通道 132 上被测量。此处光纤束 110 可被称为参考光纤束 110。因此,参考通道 132 可被设置为测量闪光灯 106 的每脉冲输出。

[0035] 综上所述可以预知,与现有技术相比,图 1 的归一化 OES 安装 (setup),可配置有外部闪光灯和多通道光谱仪以便利如下详述的方法,以收集和测量原位光学发射光谱,该发射光谱和与该测量系统有关的光学收集效率无关。通过使用该多通道光谱仪,从蚀刻室传输的光和/或闪光灯的每脉冲输出的测量可同时进行,使光学发射光谱的归一化成为可能。

[0036] 如前所述,该测量系统可包括多个光学收集效率,其促成了 OES 测量中的变异性。该光学收集效率可被去耦和量化用于归一化 OES 测量。如图 1 所示,在该归一化 OES 设置中感兴趣的光学耦合因子如下:

[0037] C_{LR} :闪光灯 106 输出至参考通道光纤束 110 的耦合,

[0038] C_{LS} :闪光灯 106 输出至信号通道光纤束 108 的耦合,

[0039] C_{FL}^* :照明片段 108 的光纤透射率 (*- 随时间推移而变化),

[0040] C_{FR}^* :参考片段 110 的光纤透射率 (*- 随时间推移而变化),

[0041] C_{FC}^* :收集片段 112 的光纤透射率 (*- 随时间推移而变化),

[0042] C_R :多通道光谱仪的参考通道 132 的耦合效率和检测灵敏度,

[0043] C_S :多通道光谱仪的信号通道 130 的耦合效率和检测灵敏度,

[0044] C_C^{**} :在收集观察孔处,准直仪组件 126 的耦合效率、石英窗 128 透射率以及密封环 134 透射率 (**- 随时间推移且在工艺过程中变化很多),以及

[0045] C_L^{**} :在照明观察孔处,准直仪组件 116 的耦合效率、石英窗 118 透射率,以及密封环 134 透射率 (**- 随时间推移且在工艺过程中变化很多)。

[0046] 在一个实施方式中,通过应用两个离线校准测量,可确定这些固定的耦合因子。图 2 显示,根据本发明一个实施方式,应用校准光源的第一校准设置 200 的简化示意图。

[0047] 在图 2 的实施中,在一个实施方式中,该校准可应用校准光源 206 以确定耦合因子 C_S 和 / 或 C_{FC} 。在本发明一个实施方式中,该校准光源 206 可由多通道光谱仪的信号通道 130 记录。校准光源 206, I_G 的该输出可被记录为信号通道 130 上的波谱 L_{GS} 。耦合因子 C_S 和 / 或 C_{FC} 可被如下确定:

[0048] $L_{GS} = C_{FC} C_S I_G$ (方程式 1),其中 L_{GS} 为该被记录光谱, I_G 为校准光源的已知输出, C_S 为多通道光谱仪的信号通道的耦合效率和检测灵敏度,以及 C_{FC} 为收集片段 112 的光纤透射率。

[0049] 在图 2 的实施中,在一个实施方式中,对于收集光纤维束 112, C_{FC} 的确定是可选择的。在一个实施方式中,如果该校准包括 C_{FC} 的确定,收集光纤维束 112 可与该多通道光谱仪的信号通道 130 放置 (ship) 在一起,作为配对。

[0050] 参考图 2, L_{GS} 和 I_G 可为已知值。然而, L_{GS} 和 I_G 不必是绝对值。在一个实施方式中, L_{GS} 可与由制造厂指定的金光谱仪有关。 I_G 可与美国国家标准及技术研究所 (NIST) 的标准有关。在一个实施方式中,该校准可在制造厂离线完成一次,以在运送至消费者之前确定该耦合因子 C_S 和 / 或 C_{FC} 。

[0051] 正如此处所用术语,金光谱仪可为特定光谱仪,由光谱仪制造商指定作为由该制造商制造的光谱仪类别的名义代表。因此,随后制造的光谱仪可对照该金光谱仪被校准。

[0052] 图 3 显示,根据本发明的一个实施方式,使用标准光源的第二校准设置 300 的简化示意图。

[0053] 在图 3 的实施中,在一个实施方式中,该校准可使用标准光源 306,以确定耦合因子 C_R 、 C_S 、 C_{FR} 、 C_{FL} 、 C_{LR} 和 / 或 C_{LS} 。在本发明的一个实施方式中,该校准可应用标准光源 306,其可由该多通道光谱仪的信号通道 130 和参考通道 132 两者测量。标准光源 306 的该输出, I_S ,可被记录为信号通道 130 上的波谱 L_{GSA} 以及参考通道 132 上的波谱 L_{GRA} 。耦合因子 C_R 、 C_S 、 C_{FR} 、 C_{FL} 、 C_{LR} 和 / 或 C_{LS} 可由下方程式确定:

[0054] $L_{GRA} = C_{LR} C_{FR} C_R I_S$ (方程式 2),

[0055] $L_{GSA} = C_{LS} C_{FL} C_S I_S$ (方程式 3),

[0056] 其中 L_{GRA} 是参考通道 132 上的被记录波谱, L_{GSA} 是信号通道 130 上的被记录波谱, I_S 是该标准光源的输出, C_S 是多通道光谱仪的该信号通道的耦合效率和检测灵敏度, C_R 是多通道光谱仪的该参考通道的耦合效率和检测灵敏度, C_{LR} 是输出至参考通道光纤维束 110 的闪光灯 306 的耦合, C_{LS} 是输出至信号通道光纤维束 108 的闪光灯 306 的耦合, C_{FL} 是照明片段 108 的光纤透射率,以及 C_{FR} 是参考片段 110 的光纤透射率。

[0057] 在一个实施方式中,该校准可在制造厂离线完成一次,以在发货至消费者之前确定这些耦合因子 C_R 、 C_S 、 C_{FR} 、 C_{FL} 、 C_{LR} 和 / 或 C_{LS} 。

[0058] 在图 3 的实施中,在一个实施方式中,来自标准光源 306 的输出, I_S ,可不必为校准

光源。该光源 306 可为与实时 OES 测量中使用的该闪光灯类似的闪光灯。在一个实施方式中,来自光源 306 的光输出圆锥面 (output cone) 可被设定为过满的纤维束输入。

[0059] 参考图 3,在一个实施方式中,参考光纤束 110 的该耦合因子 C_{FR} 可被设定为与照明光纤束 108 的耦合因子 C_{FL} 大体相等。例如,在一个实施方式中,参考片段 110 的光纤束可被制作为与照明片段 108 的光纤束具有相等长度。

[0060] 为了实现相等长度,这些光纤束可由多个方法制作。在一个示例中,这些光纤束可被制作为具有紧密度容限的预定长度,以得到相等长度的纤维片段束。可选地,一对具有相等长度的光纤束可在制作多个光纤束过程中被选出。每对光纤束可能需要彼此具有相等长度,以充当配对,被选用于光谱仪。因此,被选用于每个 OES 系统的该光纤束可能不必明确指定紧密度容限,因为那样做可能提高制作成本。

[0061] 综上所述,可以预知,图 2 和图 3 显示两个离线校准测量,在一个实施方式中,该校准测量可在制造厂完成一次,以在运送校准的 OES 系统至消费者之前确定多个固定的耦合因子。由于该 OES 系统的校准是在光谱仪制造厂完成一次,设备制造商不用负担乏味的校准,该校准可能会增加前面提到的经费开支,增大设备制造成本。

[0062] 图 4 显示,根据本发明一个实施方式,使用信号通道的实时归一化 OES 测量的方法 400 的简化流程图。为便于理解,将图 4 与图 1 和图 2 联系起来讨论。

[0063] 在一个示例中,在图 1 的典型的等离子工艺系统中,该归一化发射光谱 (OES) 安装可被用于等离子光学解调。

[0064] 如图 4 所示,在步骤 402,在一个实施方式中,可记录校准波谱 L_0 ,以俘获在初始时间整个光学系统的状态。在初始状态下,可在无等离子和 / 或无例如石英密封环的闭锁 (occlusion) 状态下收集来自该校准波谱 L_0 的数据。

[0065] 在步骤 404,将未处理过的基板放入蚀刻室,用以处理。

[0066] 在步骤 406,施加 RF 能量至该蚀刻室,与该室内的气体反应,以激励等离子,且开始该基板的处理。在基板的等离子处理过程中,可视工艺方法选择性地应用密封环。由下可以预知,由于例如位于该光学收集路径的密封环的闭锁等因素,该被测量的信号可被显著调整。

[0067] 在步骤 408,在一个实施方式中,在闪光灯 ON 状态下收集来自该蚀刻室的信号最小积分时间,以记录波谱 L_{A1} 。在一个示例中,来自该蚀刻室的信号可包括来自该灯的信号、来自等离子体的信号,以及各种背景噪音,例如来自该光谱仪探测器的暗噪音。

[0068] 在步骤 410,在一个实施方式中,在闪光灯 OFF 状态下收集来自蚀刻室的信号最小积分时间,以记录波谱 L_{A2} 。

[0069] 正如此处所用的术语,该最小积分时间是收集该波谱的最小时间。在一个实施方式中,可设计步骤 408 和 410 来实时测量该闪光灯的强度。在一个示例中,该闪光灯通常具有相对短的脉冲持续时间,大约几微秒。然而,出于成本考虑,该光谱仪可能会被能记录毫秒原始波谱数据的电子电路所限制。尽管该积分时间可能仅仅需要与该闪光灯的脉冲持续时间一样长,该积分时间可能会比该闪光灯的脉冲持续时间更长。因此,该最小

[0070] 在一个示例中,可在高速瞬闪模方程式 (strobe mode) 下完成实时 OES 测量。在一个实施方式中,在该灯 ON 状态下记录波谱 L_{A1} ,以确定灯信号、等离子发射以及背景噪音的透射率。在另一个实施方式中,在该灯 OFF 状态下记录波谱 L_{A2} ,以测量等离子发射和背

景噪音。因此,波谱 L_{A1} 与波谱 L_{A2} 的差,即 $L_{A1}-L_{A2}$,可归一化等离子发射和背景噪音,以实时提供来自该灯的被测光谱。

[0071] 综上可以预知,该积分时间可相对于该灯被最小化,以记录 (measure) 通过该系统传输的该光谱且根本上移除该等离子发射和 / 或背景噪音。因此,对于由该灯传输的光与等离子噪音的高信噪比,可望得到与闪光灯脉冲持续时间有关的最小积分时间和 / 或与等离子强度有关的闪光灯高强度。

[0072] 在步骤 412,在一个实施方式中,在闪光灯 OFF 状态下,可从蚀刻室收集信号所需积分时间,以记录波谱 L_B 。波谱 L_B 通常可为在现有技术中所收集的基本上具有多个与该测量相关的变量的波谱。

[0073] 在步骤 414,在一个实施方式中,可计算归一化的光学发射光谱 L_N ,用方程式 4 来归一化与测量系统相关联的变量,如下: $L_N = L_B / ((L_{A1}-L_{A2}) / L_0)^{1/2}$ (方程式 4),其中 $(L_{A1}-L_{A2}) / L_0$ 可为在不存在等离子和 / 或闭锁的情况下,相对于该校准波谱的归一化的实时光谱。相应地, L_B 可被归一化至 $((L_{A1}-L_{A2}) / L_0)^{1/2}$,以得到所需的实时 L_N 。

[0074] 在步骤 416,在一个实施方式中,可评定该工艺终点。该工艺终点可由来自 L_N 或其他方法的发射光谱来确定,例如预设时间或其他检测工艺终点的方法。

[0075] 在一个实施方式中,如果该工艺还没有达到终点,可通过环回至步骤 408,将实时 OES 测量继续至收集的步骤 418。继续该归一化 OES 测量,直到该工艺达到终点。在一个实施方式中,步骤 408 贯穿 416 的回路 418 是实时 OES 测量。

[0076] 在步骤 420,在一个实施方式中,当工艺达到该终点时,该工艺被终止且等离子被关闭。

[0077] 在步骤 422,在一个实施方式中,可从该蚀刻室移除已处理的晶片。

[0078] 在步骤 424,可继续该工艺,且环回至步骤 404,此时可在该蚀刻室内放入新的晶片。收集另一晶片加工的实时 OES 测量。

[0079] 综上可以预知,在不存在离线外部校准测量的情况下,归一化方法 400 仅可应用该光谱仪的单通道。尽管室间匹配不太可能,随着时间推移的测量一致性是相对可靠的。该测量能够证明由该系统老化,即石英窗上的沉积以及由密封环位置引起的光学路径变化,引起的漂移。

[0080] 可选地,和 / 或另外,在一个实施方式中,通过系统元件的生产过程仔细控制,可实现合理的室间匹配。例如,光谱仪和纤维束的该匹配、键控联接系统的设计和 / 或具有紧密密度容限,可以在不使用外部校准测量的情况下,得到很好的室间结果。因此,可以取得相对低成本、归一化的 OES 系统,用于诊断目的。

[0081] 可选地,和 / 或另外,简单的离线校准,例如图 2 的校准方法,可在光谱仪制造厂被执行一次,以减少需要进行的近似 (approximation)。通过使用具有离线校准的 OES 系统,方法 400 能够提供贯穿不同蚀刻室的匹配信号。

[0082] 图 5 显示,根据本发明一个实施方式,使用多通道光谱仪的实时归一化 OES 测量的方法 500 的简化流程图。

[0083] 考虑这个情况,例如,图 1 的典型等离子工艺系统中的该归一化的光学发射光谱 (OES) 安装可被应用于等离子光学解调。

[0084] 在步骤 502,在一个实施方式中,使用图 2 的校准 200 和 / 或图 3 的校准 300,可离

线校准该光谱仪和光学效率因子。校准 200 和校准 300 已经分别在图 2 和图 3 进行了详细讨论。这两个校准可在运送该系统之前在制造厂离线完成。

[0085] 在步骤 504, 完成两个校准步骤。在步骤 504a, 在一个实施方式中, 使用该信号通道, 完成校准波谱 L_0 , 以俘获在初始时间的整个光学系统的状态。在该初始状态, 在不存在等离子和 / 或不存在闭锁, 例如, 石英密封环的情况下, 可收集来自该校准波谱 L_0 的数据。在步骤 504b, 在一个实施方式中, 使用该参考通道, 可完成该校准波谱 L_{00} 。

[0086] 步骤 504a 和 / 或 504b 不是构成该实时 OES 归一化工艺所必需的。然而, L_0 和 / 或 L_{00} 可能对元件 (例如石英窗和 / 或收集纤维片段) 的老化效应去耦有用。例如, 随着时间的推移, 由石英窗的沉积引起的该老化效应, 可通过追踪该 L_0 和 / 或 L_{00} 与时间的函数关系来确定。

[0087] 在步骤 506, 将未处理的基板放入蚀刻室, 用以加工。

[0088] 在步骤 508, 施加 RF 能量至该蚀刻室, 以激励等离子, 用以开始该基板的加工。视该工艺配方需要, 在该基板的等离子加工过程中, 可选择性使用密封环。

[0089] 在步骤 510, 在一个实施方式中, 在步骤 510a, 使用该多通道光谱仪的信号通道, 在灯 ON 状态下, 可收集来自该蚀刻室的波谱最小积分时间, 以记录波谱 L_{A1S} 。

[0090] 在步骤 510b, 在一个实施方式中, 使用该多通道光谱仪的参考通道, 在灯 ON 状态下, 可收集该波谱 L_{A1R} 最小积分时间。

[0091] 在步骤 512, 在一个实施方式中, 在步骤 512a, 使用该多通道光谱仪的信号通道, 在灯 OFF 状态下, 可收集来自该蚀刻室的波谱最小积分时间, 以记录波谱 L_{A2S} 。

[0092] 在步骤 512b, 在一个实施方式中, 使用该多通道光谱仪的参考通道, 在灯 OFF 状态下, 可收集该波谱 L_{A2R} 最小积分时间。

[0093] 如上所述, 来自该闪光灯, 例如氙气闪光灯的光信号, 可为高强度、短脉冲的光束。该闪光灯的强度比该等离子发射高多个数量级, 导致高信噪比。另外, 与用于俘获该波谱的电子电路的时间标度, 即积分时间相比, 该闪光灯的脉冲持续时间相对较短, 例如几微秒。对于俘获该波谱的积分时间 (例如毫秒) 的限制因素可为该电子电路。

[0094] 由步骤 510a 和步骤 512a 可确定在该信号通道记录的该波谱 L_{AS} , 如下:

[0095] $L_{AS} = L_{A1S} - L_{A2S}$ (方程式 5), 其中 L_{AS} 可与如下耦合因子有关:

[0096] $L_{AS} = C_{LS}^* C_{FL}^* C_L^* C_C^* C_{FC}^* C_S I_A$ (方程式 6), 其中 I_A 是该闪光灯的输出。

[0097] 由步骤 510b 和步骤 512b 可确定在该参考通道记录的该波谱 L_{AR} , 如下:

[0098] $L_{AR} = L_{A1R} - L_{A2R}$ (方程式 7), 其中 L_{AR} 可与如下耦合因子有关:

[0099] $L_{AR} = C_{LR}^* C_{FR}^* C_R I_A$ (方程式 8)。

[0100] 在一个实施方式中, 从方程式 5 和方程式 7 的计算可允许从该等离子发射和背景噪音的该闪光灯去耦。

[0101] 在步骤 514, 在闪光灯 OFF 状态下, 可从蚀刻室收集信号所需积分时间, 在步骤 514a, 以记录一个实施方式中的波谱 L_B 。波谱 L_B 通常可为现有技术中收集的波谱, 其基本上具有多个与该测量相关的变量。该波谱 L_B 可表示如下:

[0102] $L_B = C_C^* C_{FC}^* C_S I_P$ (方程式 9)。

[0103] 综上可以预知, 带有“*”的耦合因子代表数量, 其可随时间推移而变化。在一个实施方式中, 用于方程式 5-9 的带有“*”的该耦合因子可代表该实时工艺的瞬时值。

[0104] 在步骤 516, 在一个实施方式中, 通过使用方程式 10 和 11 来归一化与该测量系统有关的变量, 可计算归一化的光学发射光谱 I_p , 如下: $I_p = (C_{FC} / (C_{FC}^*)^{1/2}) ((L_{GSA} / L_{GRA}) (L_{AR} / L_{AS}))^{1/2} (I_G / L_{GS}) L_B$ (方程式 10), $I_p = ((L_{GSA} / L_{GRA}) (L_{AR} / L_{AS}))^{1/2} (I_G / L_{GS}) L_B$ (方程式 11)。

[0105] 综上可以预知, 方程式 10 可由方程式 6、8 和 9 经此处讨论的假设而得。在一个实施方式中, 该室可被设置为对称, 导致 C_L 与 C_C 相等。因此, 对于对称的室而言, 随着时间的推移, C_L^* 的变化可被假定为与 C_C^* 的变化近似。

[0106] 在另一个实施方式中, 该纤维片段可被设置为大体相等, 导致 C_{FL} 与 C_{FR} 相等。因此, 对于具有近似暴露水平的相等纤维片段, 随着时间的推移, C_{FL}^* 的变化可被假定为与 C_{FR}^* 的变化近似。

[0107] 在又一个实施方式中, 在例如该收集纤维片段被制作成非常短的情形下, 该耦合因子 C_{FC} 可近似等于 1。而且, $(C_{FC} / (C_{FC}^*)^{1/2})$ 的比值可被假定为大约是 1。因此, 方程式 10 的值 I_p 可被简化为方程式 11。

[0108] 在步骤 518, 在一个实施方式中, 可评定该工艺终点。该工艺终点可由来自 I_p 或其他方法 (例如预先设定时间或检测工艺终点的其他方法) 的发射光谱确定。

[0109] 如果该工艺还没有到达终点, 在一个实施方式中, 在步骤 520, 通过环回至步骤 510, 继续收集实时 OES 测量。可继续该归一化 OES 测量直到该工艺已经到达终点。在一个实施方式中, 使步骤 510 贯穿至 518 的环 520 是实时 OES 测量。

[0110] 在步骤 522, 在一个实施方式中, 当该工艺已经到达终点时, 可终止该工艺且关闭等离子。

[0111] 在步骤 524, 在一个实施方式中, 可从该蚀刻室移除该处理过的晶片。

[0112] 在步骤 526, 可继续该工艺, 并环回至步骤 506, 此时可将新的晶片放入该蚀刻室。该实时 OES 测量可被收集用于另一晶片的处理。

[0113] 因此, 该归一化方法 500 可使用图 1 所示的 OES 安装以及在图 2 和图 3 中讨论的离线外部校准测量, 以记录并得到实时归一化光学发射光谱 I_p 。该归一化光学光谱和与该测量系统有关的该光学收集效率无关。

[0114] 综上可以预知, 通过应用实时 OES 测量, 本发明的一个或多个实施方式为等离子工艺系统提供使贯穿制造设备内的多个室的光学发射光谱的定量比较更容易的性能。而且, 该归一化的波谱可被用于建立工艺控制和 / 或故障检测能力。

[0115] 尽管已经就几个优选实施方式对本发明进行了描述, 仍然存在某些改变、修正或者等同使用落入本发明的范围内。尽管此处提供了各种示例, 但是这些示例为解说性的, 而非就本发明进行限制。

[0116] 还有, 为了方便起见, 此处提供的标题和发明内容, 不应被用于解释权利要求的范围。而且, 该摘要以高度简略的形式书写而成, 为了方便起见提供于此, 因此不应被用于解释或限制由权利要求所表达的整个发明。如果此处使用术语“组”, 该术语意在具有其通常理解上的数学含义, 包含 0、1、或多于 1 个。还应当注意的是, 存在许多实现本发明的方法和装置的替代方式。因此, 所附的权利要求意在被解释为包括所有这些落入本发明实质和范围内的改变、修正或者等同。

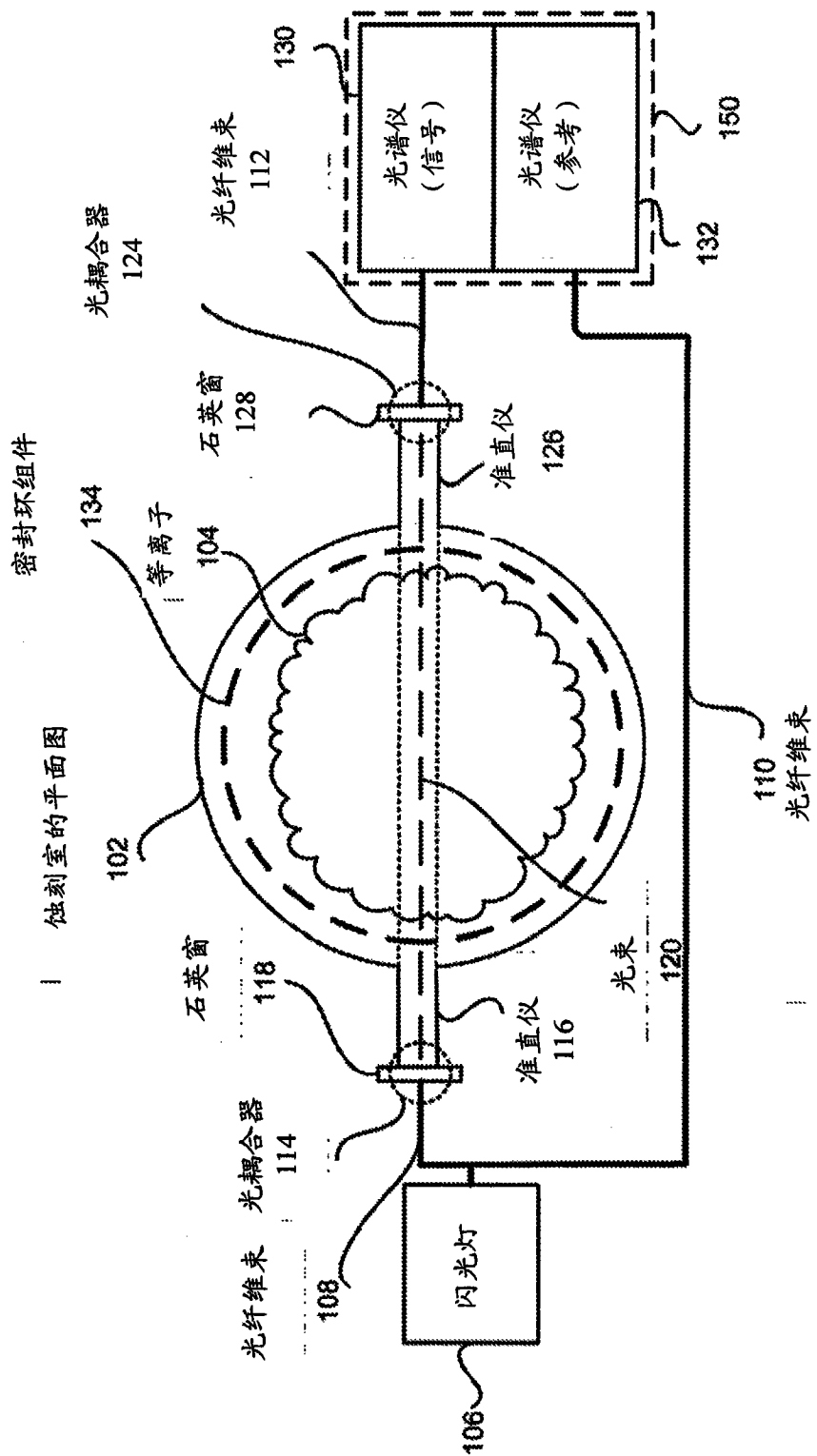


图 1

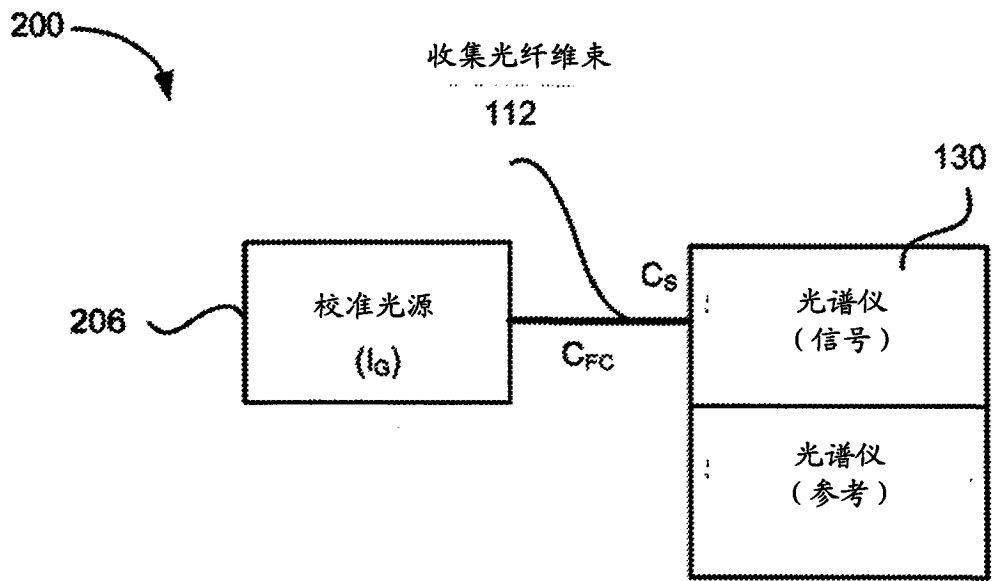


图 2

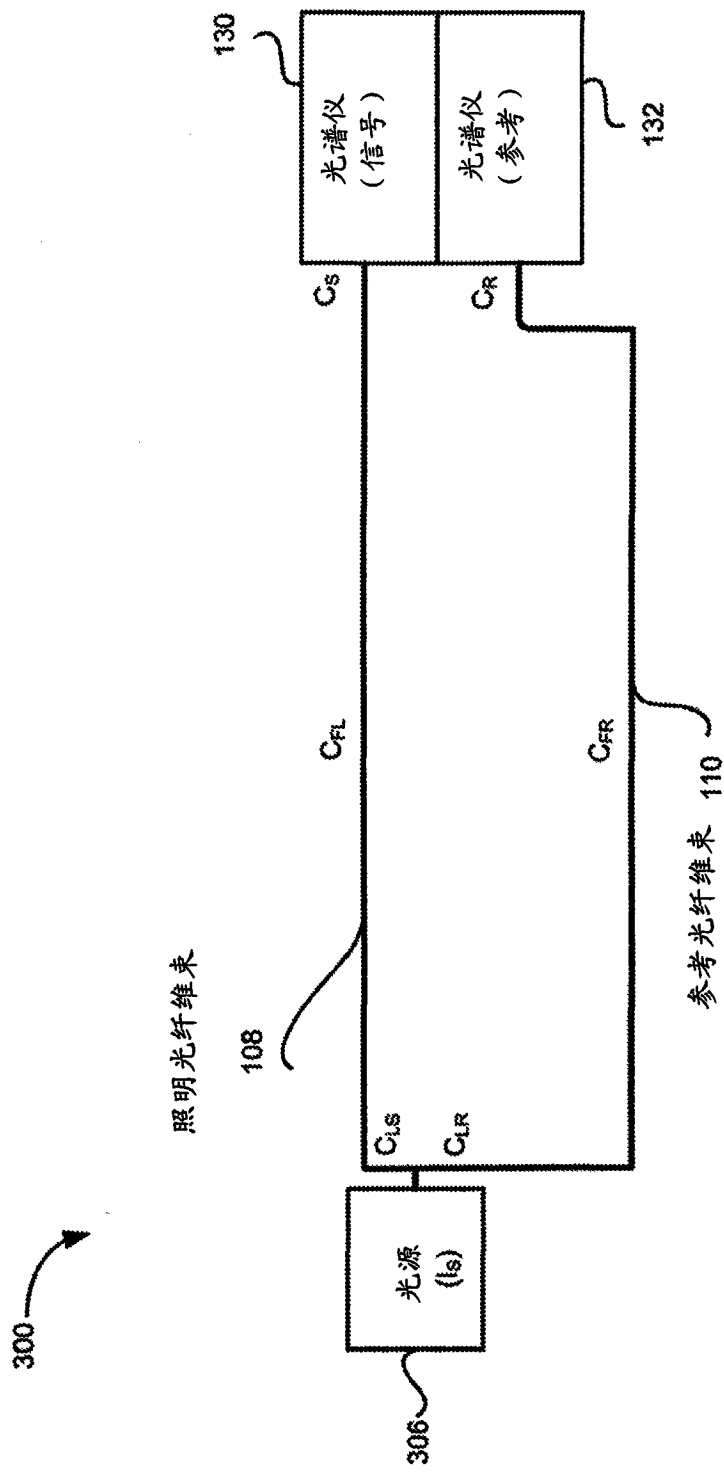


图 3

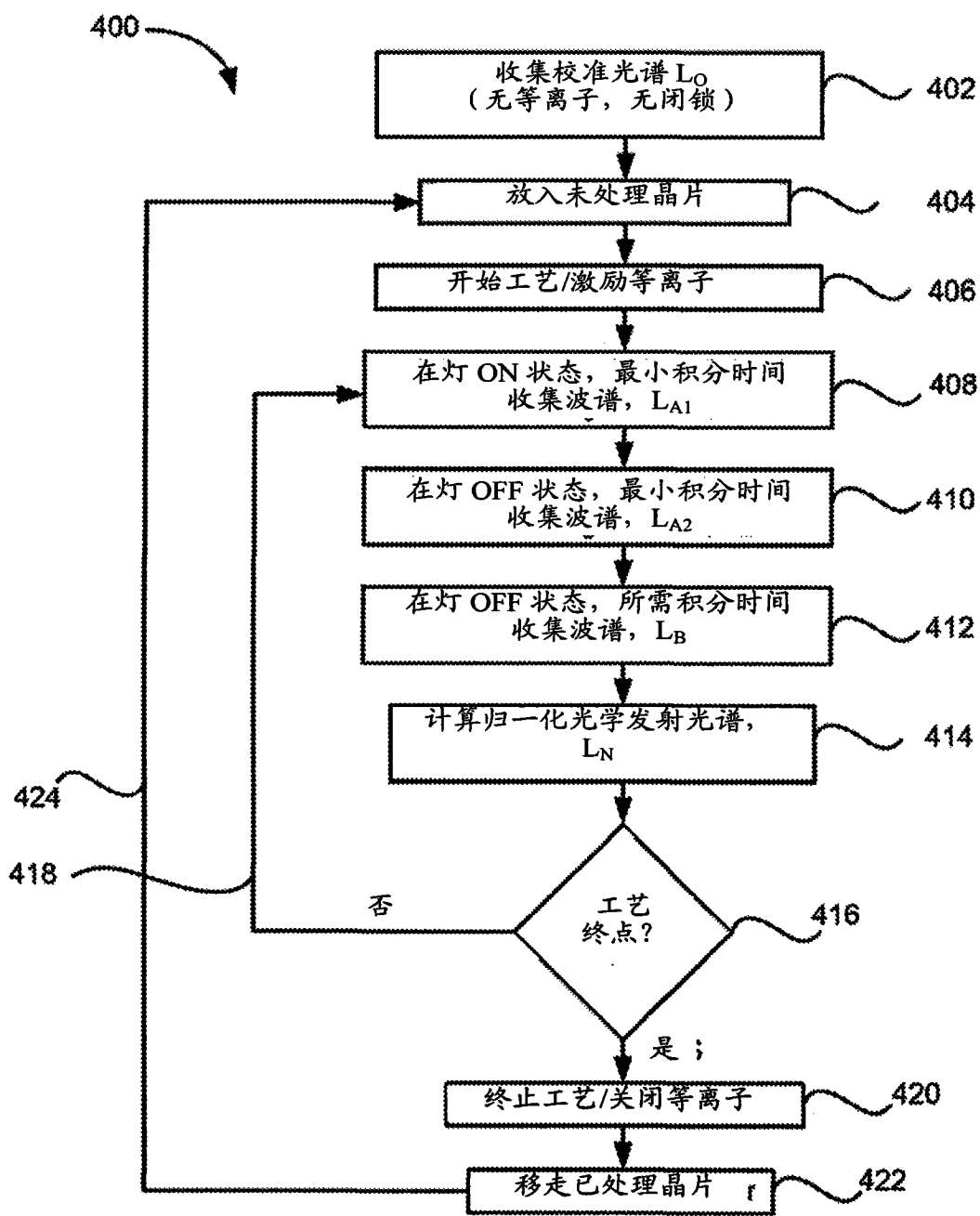


图 4

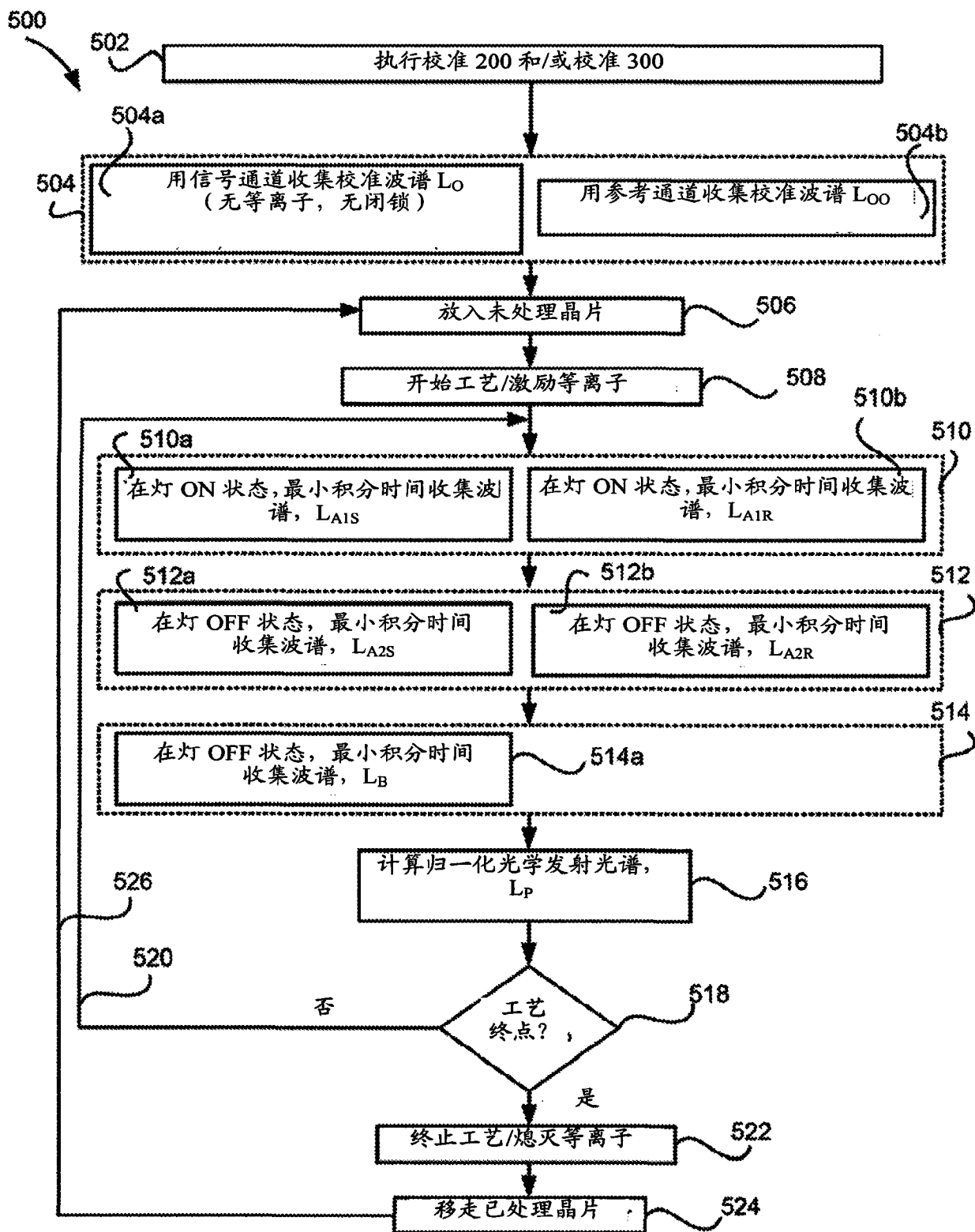


图 5